

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Deskripsi Teori**

##### **1. Fiber Optik**

Fiber optik merupakan media transmisi atau pandu gelombang cahaya yang berbentuk silinder, yang dikembangkan di akhir tahun 1960-an sebagai jawaban atas perkembangan sistem komunikasi yang semakin lama membutuhkan *bandwidth* yang besar dengan laju transmisi yang tinggi. Fiber optik terbuat dari bahan dielektrik berbentuk seperti kaca. Di dalam fiber inilah energi cahaya yang dibangkitkan oleh sumber cahaya disalurkan sehingga dapat diterima di ujung unit penerima (*receiver*).

Fiber optik terdiri dari dua jenis yaitu fiber optik kabel dan fiber optik plastik (FOP). Fiber optik kabel banyak digunakan untuk transmisi jarak jauh sementara FOP hanya digunakan untuk komunikasi jarak pendek. Fiber optik banyak dibuat dari bahan kaca atau bahan silika ( $\text{SiO}_2$ ), yang biasanya diberi doping untuk menaikkan indeks biasnya. FOP tidak jauh berbeda dengan fiber optik kabel, hanya saja fiber optik kabel dilengkapi dengan *kevlar* untuk penguat fiber optik sedangkan FOP tidak.

##### **a. Struktur fiber optik**

Struktur kabel fiber optik secara umum dibagi atas tiga bagian yaitu:

###### **1) Teras (*core*)**

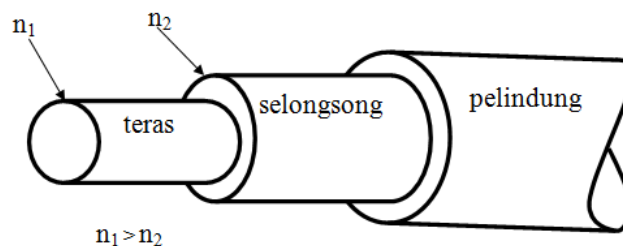
Teras terbuat dari bahan plastik atau kaca halus yang berkualitas tinggi dan tidak mengalami perkaratan (korosi). Teras merupakan bagian utama dari fiber optik karena perambatan cahaya terjadi pada bagian teras.

## 2) Slongsong (*cladding*)

*Cladding* merupakan lapisan yang dilapiskan pada *core* sebagai selubung *core*. *Cladding* ini juga terbuat dari bahan yang sama dengan *core* tetapi indeks biasnya berbeda dari indeks bias teras. Tujuan dibuat indeks bias berbeda agar cahaya selalu dipantulkan kembali ke teras oleh permukaan *cladding*-nya dan memungkinkan cahaya tetap berada di dalam fiber optik.

## 3) Jaket pelindung (*buffer primer*)

Jaket pelindung digunakan untuk melindungi fiber optik dari munculnya retakan-retakan awal pada permukaannya, sebuah lapisan plastik yang sangat lembut ditambahkan di bagian luar. Lapisan pembungkus tambahan ini disebut sebagai *buffer primer* (atau terkadang juga *coating* atau *buffer* saja), dan penggunaannya untuk memberikan perlindungan mekanis; bagian ini tidak terlibat dalam proses transmisi cahaya di dalam fiber optik seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema bagian penyusun fiber optik plastik (Gred Keiser, 1991: 26)

### b. Jenis-Jenis Fiber Optik

Jenis fiber optik dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu *singlemode* dan *multimode*.

### 1) *Singlemode*

Fiber *singlemode* mempunyai ukuran diameter *core* yang sangat kecil yaitu sekitar (4-10)  $\mu\text{m}$  dan diameter *cladding* sebesar 125  $\mu\text{m}$ . Secara teori fiber ini hanya dapat mentransmisikan sinyal dalam satu mode. Karena *singlemode* hanya mentransmisikan sinyal pada mode utama, maka fiber *singlemode* dapat mencegah terjadinya dispersi kromatik. Oleh karena itu fiber optik *singlemode* cocok untuk kapasitas besar dan komunikasi fiber optik jarak jauh.

### 2) *Multimode*

Pada panjang gelombang operasi tertentu, jika fiber optik mentransmisikan sinyal dalam berbagai mode, disebut fiber *multimode*. Fiber *multimode* biasanya memiliki diameter *core* antara (50 – 70)  $\mu\text{m}$  dan diameter *cladding* antara (100 – 200)  $\mu\text{m}$ . Jenis fiber ini biasanya memiliki performansi transmisi yang buruk, *bandwidth* yang sempit dan kapasitas transmisi yang kecil.

## c. **Rambatan Cahaya di Dalam Fiber Optik**

### 1) **Pemantulan Internal Sempurna**

Ketika cahaya menjalar di dalam bahan transparan yang memiliki perbedaan indeks bias, sehingga menemui permukaan bahan transparan lainnya maka dua hal akan terjadi, yaitu:

- a) sebagian cahaya akan dipantulkan
- b) sebagian cahaya akan diteruskan ke dalam bahan trasparan kedua.

Cahaya yang diteruskan biasanya berubah arah ketika memasuki bahan kedua, yaitu jika cahaya masuk dengan sebuah sudut terhadap garis normal permukaan bahan. Pembelokan cahaya ini timbul karena pembiasan yang bergantung pada kecepatan cahaya di dalam suatu bahan, dan kecepatannya berbeda di dalam bahan dengan indeks bias berbeda. Seberkas cahaya datang dari medium pertama yang mempunyai indeks bias  $n_1$  dengan sudut datang  $i_1$ , cahaya itu dibiaskan pada bidang batas dan masuk ke medium kedua yang mempunyai indeks bias  $n_2$  dengan sudut bias  $i_2$ . Menurut Hukum Snellius pembiasan tersebut dapat dituliskan dalam bentuk:

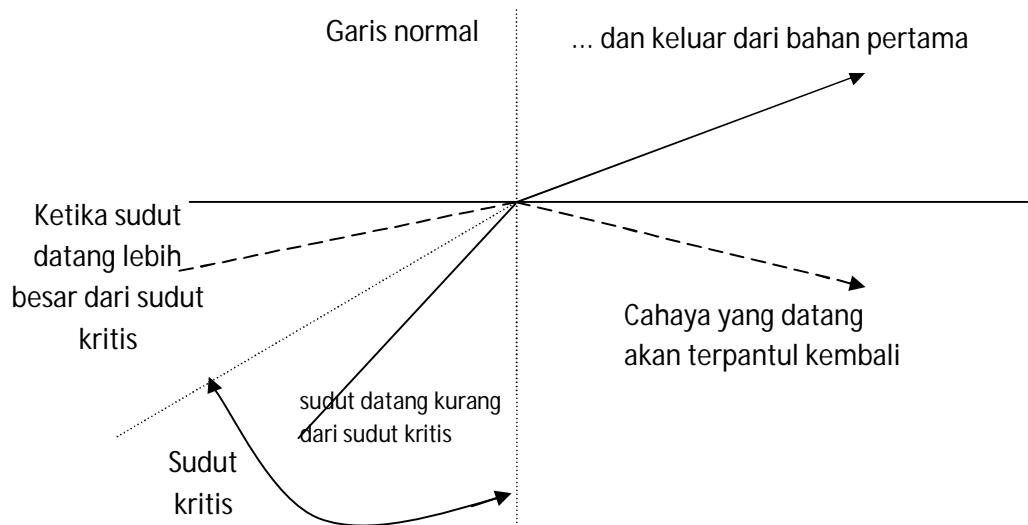
$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Ketika sudut datang cahaya (di dalam bahan pertama) menuju bidang perbatasan terus diperbesar, akan tercapai suatu titik di mana sudut bias menjadi bernilai  $90^\circ$  dan cahaya akan masuk sejajar dengan bidang perbatasan di dalam bahan kedua. Sudut datang yang menjadikan hal tersebut dinamakan sebagai sudut kritis.

$$\theta_{kritis} = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

Ketika cahaya merambat dengan sudut datang yang kurang dari sudut kritis maka cahaya akan dibiaskan keluar dari bahan pertama, akan tetapi jika cahaya merambat menuju bidang perbatasan dengan sudut datang yang lebih

besar dari sudut kritis maka cahaya tersebut akan dipantulkan kembali (oleh bidang perbatasan) ke dalam bidang pertama. Dalam hal ini bidang pertama hanya berperan sebagai bidang pantul (cermin). Efek semacam ini disebut sebagai pemantulan internal sempurna (*total internal reflection*/TIR). Gambar 2. melukiskan terjadinya pemantulan internal sempurna.



Gambar 2. Pemantulan internal sempurna (Crisp dan Elliott, 2008: 18)

## 2) *Numerical Aperture*

Nilai *numerical aperture* adalah parameter yang mengukur kemampuan fiber optik untuk menangkap atau mengumpulkan cahaya. Selain *numerical aperture* sudut penerima juga mengindikasikan berapa cahaya yang dapat diterima ke dalam fiber optik.

Gambar 3 menunjukkan adanya sudut  $\theta_{max}$  yang merupakan batas agar cahaya dapat melewati fiber optik. Sudut ini disebut *Numerical Aperture*. Cahaya tidak dapat melewati fiber optik jika datang dengan sudut lebih besar dari  $\theta_{max}$ . Cahaya ini dapat masuk ke dalam fiber optik tetapi

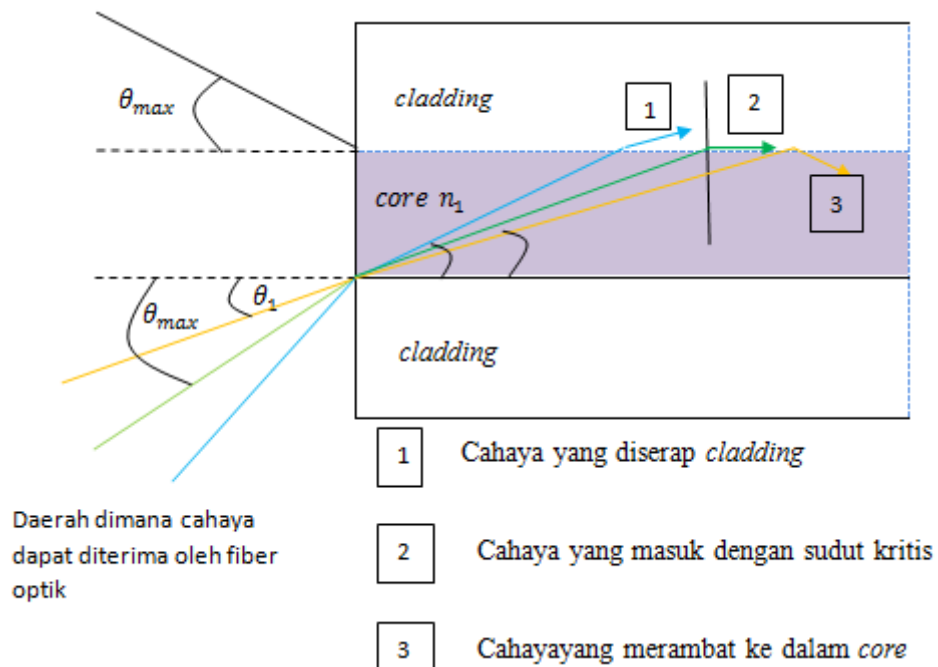
tidak dapat melewati fiber optik karena cahaya telah diserap oleh *cladding*. Sedangkan semua cahaya dengan sudut datang kurang dari  $\theta_{max}$  dapat masuk dan melewati fiber optik, cahaya ini akan mengalami pemantulan internal total yang menyebabkan cahaya tetap berada dalam fiber optik.

Besarnya nilai *numerical aperture* (*NA*) ditentukan dengan persamaan berikut:

$$NA = n \sin \theta_{max} = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (3)$$

dengan  $n$  adalah indeks bias udara = 1,  $n_1$  adalah indeks bias *core*,  $n_2$  adalah indeks bias selongsong (*cladding*). Besarnya nilai sudut penerima dapat dihitung dengan

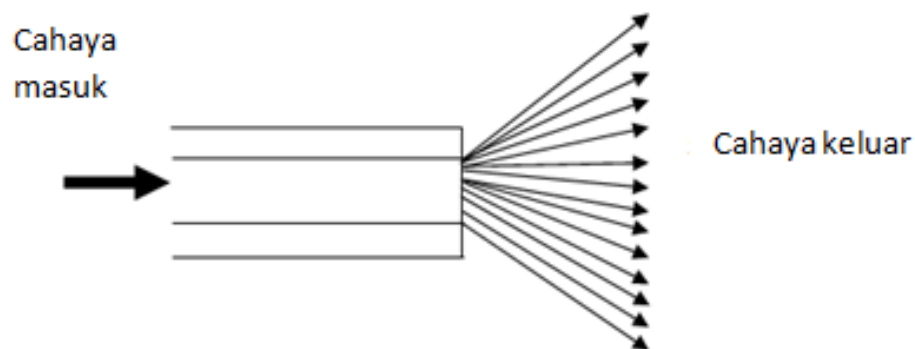
$$\text{sudut penerima} = \arcsin NA \quad (4)$$



Gambar 3. Sudut dimana cahaya dapat diterima oleh fiber optik (Horson, 2010: 16)

### 3) Memasukkan Cahaya ke dalam Fiber Optik

Ketika kita memasukkan cahaya ke salah satu ujung fiber optik, cahaya tersebut akan terpancar keluar dari ujung yang lainnya. Cahaya akan menyebar keluar dari ujung output fiber optik (yaitu ujung yang tidak dimasuki cahaya) seperti pada Gambar 4. Bahkan kita dapat menghitung sudut penyebaran tersebut menggunakan Hukum Snellius. Cahaya yang masuk ke dalam fiber optik pada Gambar 4 merambat di sepanjang fiber dengan sudut datang (sudut pantul) yang sama dengan sudut kritis.

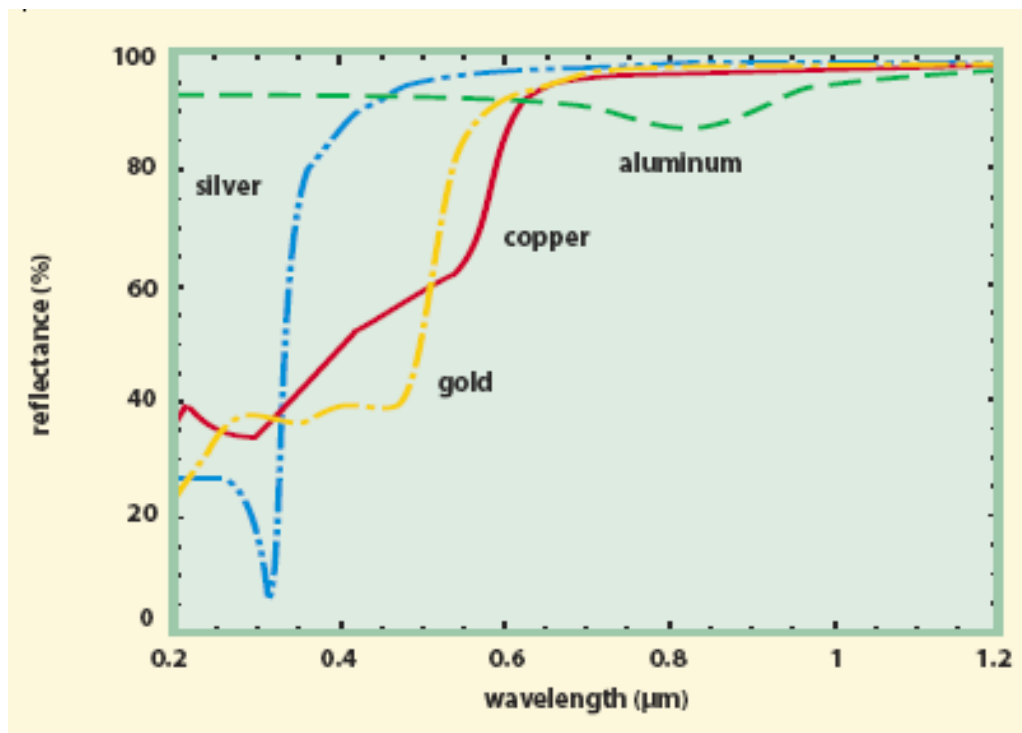


Gambar 4. Semua jalur yang ditempuh cahaya adalah simetris (Crisp dan Elliott, 2008: 33)

#### d. Sifat Optik Lapisan Tipis

Bentuk lapisan tipis optik yang paling sederhana adalah lapisan tipis logam, seperti aluminium, yang didepositkan pada substrat kaca untuk membuat permukaan bersifat reflektif (Macleod, 2010; Holland, 1970; Hobbs, 2009; Wiley, 2010). Logam yang digunakan akan menentukan karakteristik refleksi lapisan yang dihasilkan. Performansi reflektansi beberapa material logam yang umum digunakan untuk lapisan refleksi ditunjukkan pada Gambar 5.

Material aluminium merupakan yang termurah dan lapisan metal yang paling umum digunakan dalam pembuatan lapisan yang bersifat reflektif. Lapisan ini menghasilkan pantulan sekitar 88 %-92 % pada spektrum tampak. Material Al mudah dievaporasikan dan memiliki reflektansi yang baik pada daerah UV, tampak dan IR. Selain itu material ini memiliki daya adhesi yang kuat pada substrat yang umum digunakan termasuk plastik. Reflektansi lapisan Al menurun secara perlahan seiring penggunaan walaupun lapisan oksida yang dibuat pada permukaan membantu melindungi lapisan Al dari korosi.



Gambar 5. Kurva reflektansi dengan panjang gelombang untuk aluminium (Al), tembaga (Cu), perak (Ag) dan emas (Au) cermin logam pada sudut jatuh normal (sumber: <http://www.photonics.com>)

#### e. Pelemahan Daya Fiber Optik

Daya yang dibawa oleh cahaya akan mengalami pelemahan (*loss*) akibat terjadinya kebocoran atau karena kurangnya kejernihan bahan fiber optik. Besaran



pelemahan daya pada fiber optik dinyatakan sebagai perbandingan antara daya pancaran awal terhadap daya yang diterima dan dinyatakan dalam *deci-Bell* (dB). Pelemahan daya disebabkan oleh 3 faktor utama yaitu absorpsi, hamburan (*scattering*) dan lekukan (*bending losses*).

### **1) Absorpsi**

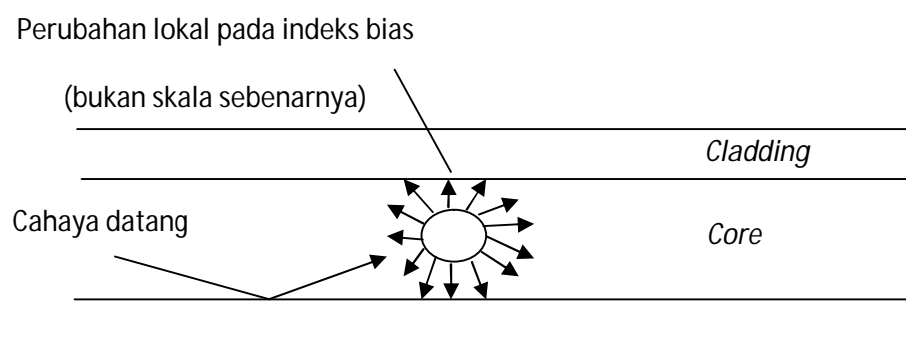
Zat pengotor (*impurity*) apapun yang masih tersisa di dalam bahan inti akan menyerap sebagian dari energi cahaya yang merambat di dalam fiber optik. Kontaminan yang menimbulkan efek paling serius adalah ion-ion hidroksil ( $\text{OH}^-$ ) dan zat-zat logam. Ion-ion hidroksil yang merupakan wujud lain dari fluida akan menyerap energi gelombang dengan panjang gelombang 1380 nm, sedangkan zat-zat logam akan menyerap energi gelombang dengan berbagai nilai panjang gelombang tertentu.

### **2) Hamburan Rayleigh**

Hamburan Rayleigh (*Rayleigh scatter*) adalah efek terpancarnya cahaya akibat terjadinya perubahan kecil yang bersifat lokal pada indeks bias bahan inti dan bahan *core*. Dikatakan bersifat lokal karena perubahan hanya terjadi di lokasi-lokasi tertentu saja di dalam bahan, dan ukuran daerah yang terkena pengaruh perubahan ini sangat kecil, yaitu kurang dari satu panjang gelombang cahaya yang terhambur.

Terdapat dua hal yang menyebabkan terjadinya fenomena ini, dan keduanya timbul di dalam proses manufaktur. Sebab pertama adalah terdapatnya ketidakrataan di dalam adonan bahan-bahan pembuat fiber optik. Ketidakrataan dalam jumlah yang sangat kecil dan bersifat acak mustahil untuk sepenuhnya dihilangkan. Penyebab kedua adalah pergeseran-pergeseran

kecil pada kerapatan bahan yang biasanya terjadi saat kaca silika mulai membeku menjadi padat. Salah satu lokasi kelemahan ini dan efek pancaran Rayleigh yang ditimbulkannya diilustrasikan dalam Gambar 6. Dalam gambar diperlihatkan bahwa cahaya terpecah ke segala arah. Semua komponen pancaran cahaya yang kini merambat dengan sudut datang kurang dari sudut kritis akan menembus *cladding* pelindung dan hilang sebagai rugi daya. Intensitas pancaran Rayleigh bergantung pada ukuran daerah perubahan relatif terhadap panjang gelombang cahaya yang bersangkutan, Oleh karena itu cahaya dengan panjang gelombang paling kecil, atau frekuensi tertinggi, akan paling besar terkena dampak pancaran ini.



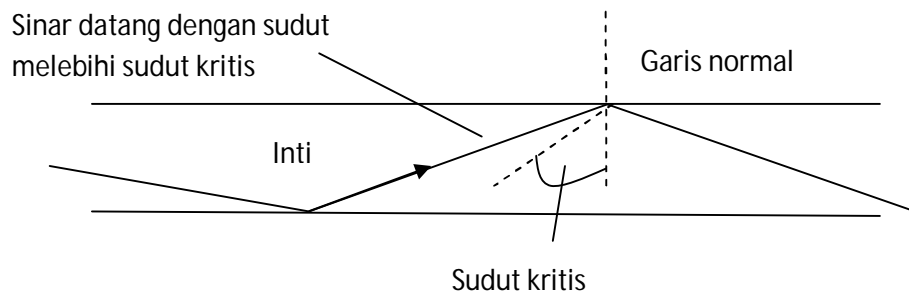
Gambar 6. Cahaya terpencar ke segala arah (Crisp dan Elliott, 2008: 53).

### 3) Pelemahan Lekukan Kabel

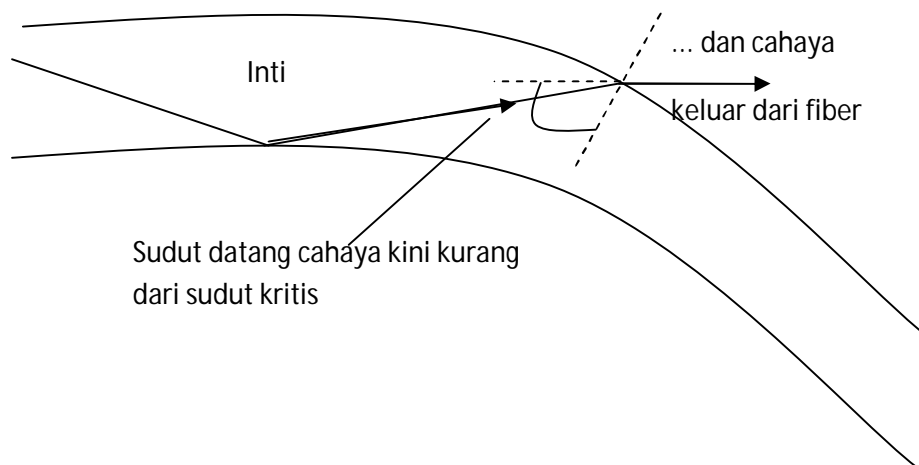
#### a) *Macrobend* (lekukan skala makro)

Lekukan tajam pada sebuah kabel fiber optik dapat menyebabkan timbulnya pelemahan daya yang cukup serius, dan lebih jauh lagi kemungkinan terjadinya kerusakan mekanis (pecahnya fiber optik). Cahaya yang diperlihatkan dalam Gambar 7 memiliki sudut datang yang melebihi sudut kritis, dan karenanya dapat merambat secara ‘aman’ di dalam inti fiber optik. Garis normal selalu mengarah

tegak lurus terhadap permukaan inti (bidang batas inti-mantel). Sekarang jika inti dilengkungkan, seperti dalam Gambar 8, maka garis normal akan berubah arahnya mengikuti permukaan inti. Akibatnya, cahaya yang tadinya merambat dengan sudut ‘aman’, kini tidak lagi demikian, sudut datangnya menjadi kurang dari sudut kritis dan mengakibatkan cahaya dapat menembus inti dan keluar dari fiber optik.



Gambar 7. Keadaan normal (Sumber: John Crisp dan Barry Elliot, 2006: 63)



Gambar 8. Keadaan saat terjadi lekukan (Sumber: John Crisp dan Barry Elliot, 2006: 63)

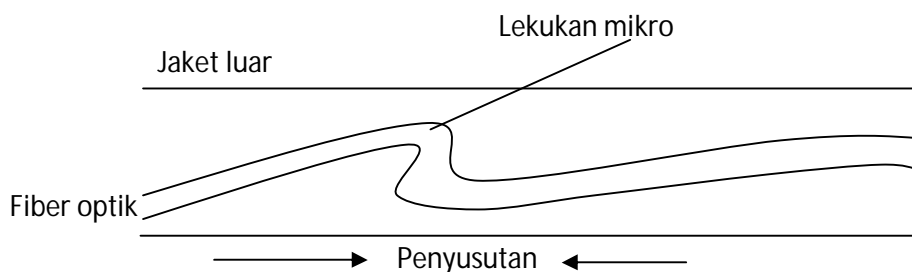
Lekukan yang tajam oleh sebab itu harus dihindarkan. Seberapa ‘tajam’ lekukan yang dikatakan tajam ini harus dilihat pada spesifikasi kabel fiber optik yang bersangkutan, karena semua informasi mengenai batasan-batasan mekanis dan pelemahan daya kabel ada di dalam spesifikasi tersebut. Akan tetapi,

mengetahui batasan umum yang berlaku untuk masalah lekukan kabel ini sering kali sangat membantu. Semakin tajam (dan semakin kecil jari-jari) kelengkungan, maka semakin besar pelemahan daya yang timbul.

Pelemahan daya karena lekukan fiber optik sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk banyak hal melalui dua cara: dengan memanfaatkan peningkatan *loss* yang terjadi di dalam fiber dan dengan memanfaatkan cahaya yang lolos dari fiber optik.

b) *Microbend* (lekukan skala mikro)

Permasalahan lekukan skala mikro pada prinsipnya menimbulkan efek yang sama dengan *macrobend*, hanya saja ukuran lekukan dan penyebab terjadinya berbeda. Jari-jari lekukan yang timbul dalam kasus ini adalah sama dengan atau kurang dari garis-tengah sebuah fiber optik (Gambar 9).



Gambar 9. Perbedaan laju penyusutan dapat menimbulkan lekukan mikro

Permasalahan *microbend* (lekukan mikro) pada umumnya muncul di dalam proses manufaktur. Penyebab yang biasa dijumpai adalah perbedaan laju pemuaian (dan penyusutan) antara fiber optik dan lapisan-lapisan pelindung luarnya (jaket). Ketika kabel fiber optik terlalu dingin, lapisan jaket maupun bagian inti/selongsong akan mengalami penyusutan dan memendek. Jika bagian

inti/selongsong menyusut lebih lambat dari lapisan jaketnya, maka bagian inti/selongsong akan bergeser dari posisi relatifnya semula dan hal ini dapat menimbulkan lekukan-lekukan padanya. Fenomena inilah yang dikenal sebagai permasalahan *microbend*.

Dengan bersikap sangat selektif dalam memilih kabel fiber optik yang akan digunakan, masalah *microbend* lebih mudah dihindarkan ketimbang masalah *macrobend*, karena banyak fiber optik di pasaran dewasa ini dapat mengakomodir kisaran suhu kerja yang sangat lebar, yaitu  $-55^{\circ}\text{C}$  hingga  $+85^{\circ}\text{C}$ .

## **2. Fiber Optik Plastik (FOP)**

FOP adalah fiber optik dengan teras yang terbuat dari jenis bahan plastik tertentu (yaitu terbuat dari bahan polimer *polymet-hylmethacrylate* (PMMA)) yang memiliki indeks bias tertentu. FOP kurang banyak digunakan sebagai media transmisi jarak jauh karena memiliki atenuasi yang besar. FOP ini merupakan alternatif dari fiber optik berbasis silika untuk tujuan pengurangan biaya pada sistem komunikasi fiber optik karena harganya lebih murah. Disamping itu FOP mudah dipreparasi dan diterminasi, mudah dikopel dengan detektor dan emiter, serta fleksibel dan robust.

Hingga saat ini FOP telah dapat menggantikan fiber optik silika khususnya untuk *link* komunikasi jarak pendek seperti sistem komunikasi LAN. Hal ini karena mudah dalam penanganannya, fleksibilitas dan ekonomis, tingkat atenuasi FOP sudah dapat juga direduksi secara signifikan, yaitu di bawah 30 dB/km. Beberapa parameter fiber optik plastik dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan beberapa parameter FOP dengan komposisi teras (*core*) berbeda (Akhiruddin Maddu, 2007: 27)

Bahan	Atenuasi (dB/km)	Bandwith (GHz*km)	Aplikasi	Indeks bias Core/cladding	NA	Diameter Inti (μm)
PMMA	55 (538 nm)	0,003	LANs, komunikasi, industri, sensor	1,492/1,417	0,47	250-1000
PS	330 (570 nm)	0,0015	Komunikasi High T, sensor	1,592/1,416	0,73	500-1000
PC	660 (670 nm)	0,0015	Komunikasi High T, sensor	1,582/1,305	0,78	500-1000
CYTOP	16 (1310 nm)	0,59 (GIPOF)	LANs	1,353/1,34	0,19	500-1000
PCS HCS	5-6 (820)	0,005	Komunikasi, medis, industri dan sensor	1,46/1,41	0,4	110-1000

Keterangan: PMMA, polymethyl methacrylates; PS, polystyrene; PC, polycarbonate; CYTOP is an amorphous flourinated polymer; HCS, hard core silica; PCS, plastic clad silica

Dalam perkembanganya FOP tidak hanya digunakan sebagai pandu gelombang optik pada sistem komunikasi optik, namun juga telah dimanfaatkan sebagai komponen sensor FOP. Sejauh ini telah cukup banyak yang mengembangkan sensor fiber optik menggunakan FOP dengan mekanisme dan konfigurasi yang bervariasi, demikian juga bidang aplikasi dan besaran yang terdeteksi cukup bervariasi meliputi besaran fisika, kimia maupun biologi.

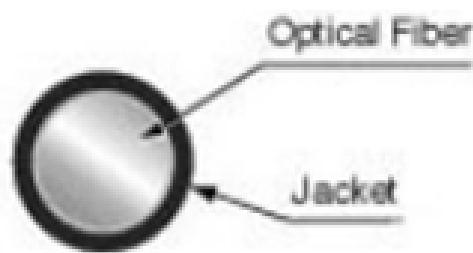
Dalam bidang rekayasa material sensor FOP dikembangkan untuk memantau respon dinamik bahan komposit seperti beton. Sensor fiber optik juga banyak dikembangkan pada bidang pemantauan kimia dan lingkungan, meliputi sensor gas atau uap kimia, seperti sensor uap metanol, sensor gas hidrokarbon, sensor gas oksigen bahkan sensor pH.

FOP terdiri dari teras (*core*), selongsong (*cladding*), dan jaket pelindung. *Core* dan *cladding* dibuat berbeda indeks bias, agar bisa terjadi pemantulan internal total. Pemantulan internal total inilah yang menyebabkan cahaya tetap berada di dalam fiber optik. Sementara jaket digunakan untuk melindungi fiber optik dari kondisi lingkungan yang merusak.

Jaket pelindung adalah pelindung lapisan *core* dan *cladding*. Fiber optik diberi jaket pelindung yang kegunaannya untuk menghindari terjadinya kerusakan yang disebabkan oleh pengaruh luar baik pada saat penggunaan atau akibat pengaruh lain; bagian ini tidak terlibat dalam proses memandu cahaya.

Menurut Gred Keiser (1984: 276), contoh bahan dari fiber optik plastik adalah

1. *core* dengan bahan *polystyrene* ( $n_1 = 1.60$ ) dan *cladding* dengan bahan *methyl methacrylate* ( $n_2 = 1.41$ ), memberikan nilai  $NA = 0.60$
2. *core* dengan bahan *polymethyl methacrylate* ( $n_1 = 1.49$ ) dan *cladding* dengan bahan *co-polymer* ( $n_2 = 1.41$ ), memberikan nilai  $NA = 0.48$



Gambar 10. Fiber optik plastik tipe SH-4001-1.3 memiliki diameter inti 1.0 mm (Sumber: <http://i-fiberoptics.com/fiber-detail.php?id=13>).

Tabel 2. Spesifikasi POF tipe SH-4001-1.3 (sumber: <http://i-fiberoptics.com>)

Item		Specification			
		Satuan	Min	Typ	Max
Optical fibe	Bahan <i>core</i>	-	<i>Polymethyl-Methacrylate Resin</i>		
	Bahan <i>cladding</i>	-	<i>Fluorinated polymer</i>		
	Indeks bias <i>core</i>	-	1,49		
	Inseks bias <i>cladding</i>	-	1,41		
	<i>Numerical aperture</i>	-	0,5		
	Diameter <i>core</i>	Mm	920	980	1040
	Diameter <i>cladding</i>	Mm	940	1000	1060
Jacket	Bahan	-	<i>Polyethylene</i>		
	Warna	-	Black		
	Diameter	Mm	1,25	1,30	1,35
	Berat kira-kira	g/m	1,5		
	Indeks bias jaket	-	None		

Tabel 3. Spesifikasi POF tipe SH-4001-1.3

Keadaan		Satuan	Nilai
Penilaian maksimum	Suhu penyimpanan	$o_c$	-55~70
	Suhu pemakaian	$o_c$	-55~70
Sifat Optik	Pelembahan transmisi	dB/m	.19 Max.
Karakteristik mekanik	Diameter lengkungan minimal	mm	20
	Regangan tarikan	N	65
	Ketahanan putaran	Times	5

Fiber Optik yang digunakan adalah fiber optik plastik tipe SH-4001-1.3. yang terdiri dari *core*, *cladding*, dan *buffer*. Bahan *core* yang digunakan adalah *Polymethyl-Methacrylate Resin* dengan diameter 980  $\mu\text{m}$  dan bahan *cladding* yang digunakan adalah *Fluorinated Polymer* dengan diameter minimal 1000  $\mu\text{m}$ .

Pada percobaan, panjang gelombang laser yang digunakan adalah 632,8 nm. Jika dilihat pada Gambar 11 saat POF SH-4001-1.3 dikenai cahaya laser dengan



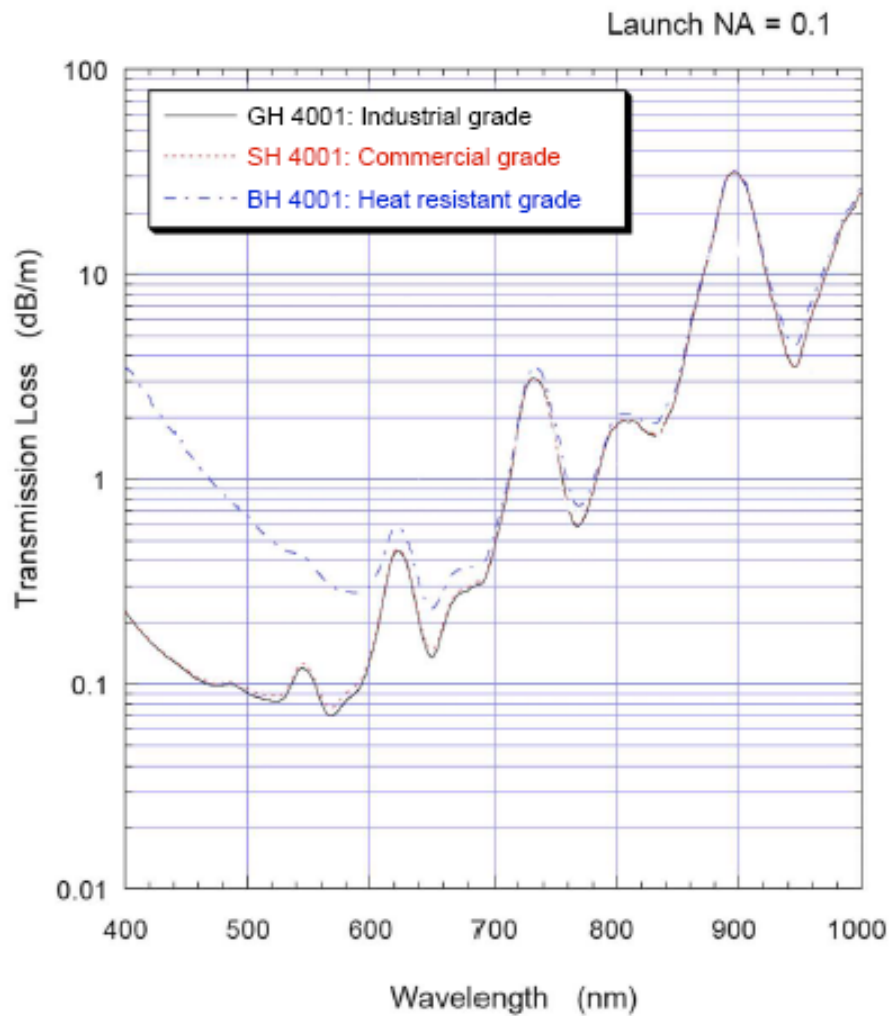
panjang gelombang 632.8 nm maka akan memiliki *transmission loss* sekitar 0,50 dB/m.

### **3. Tipe Sensor Fiber Optik**

Sensor fiber optik adalah jenis sensor optik yang menggunakan fiber optik dalam mekanisme pengindraan atau pendeteksian, baik sebagai komponen aktif sensor maupun sekedar sebagai pemandu gelombang saja. Sistem sensor optik dilengkapi dengan paling tidak tiga komponen utama, yaitu komponen optoelektronik, *link* optik dan probe. Komponen optoelektronik meliputi sumber cahaya, detektor optik dan pengolah sinyal.

*Link* optik berupa gelombang fiber optik yang berfungsi memandu cahaya ke atau dari bagian pengindraan. Sedangkan probe adalah bagian *sensing* atau *transducing*, baik pada bagian di dalam fiber optik atau di luar fiber optik, yang bertindak sebagai transduser dan berinteraksi langsung dengan obyek atau besaran yang diukur.

Sensor fiber optik didasarkan pada mekanisme modulasi gelombang cahaya dari suatu sumber seperti LED, diode laser, atau yang lainnya. Kuantitas optik yang dimodulasi dapat berupa intensitas atau amplitudo, panjang gelombang, fase gelombang dan polarisasi gelombang optik tersebut. Modulasi ini dapat terjadi di luar maupun di dalam fiber optik (Akhiruddin Maddu, 2007: 38).

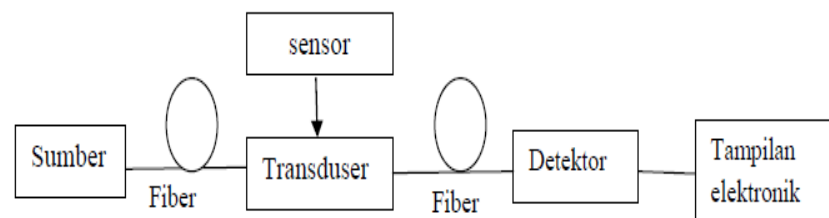


Gambar 11. Tipikal *Transmission Loss* (dB/m) dari POF ESKA<sup>TM</sup>  
 (Sumber: <http://i-fiberoptics.com/fiber-detail.php>)

Sumber cahaya dilewatkan melalui salah satu ujung fiber optik menuju daerah modulasi cahaya, modulator atau transduser, selanjutnya diteruskan ke ujung lain fiber optik dimana terdapat detektor cahaya, atau dapat juga setelah termodulasi, cahaya tersebut dikembalikan melalui fiber optik yang sama menuju detektor. Cahaya tersebut dimodulasi oleh besaran-besaran medium yang diukur, yaitu besaran kimia, biologi atau fisika, sebagai besaran yang akan dideteksi. Besaran-besaran kimia yang dapat dideteksi seperti pH,

konsentrasi larutan atau jenis ion maupun konsentrasi gas atau uap kimia. Besaran-besaran biologi seperti jenis dan populasi bakteri atau mikro organisme lainnya ataupun komponen-komponen biokimia seperti glukosa hingga DNA. Sedangkan besaran-besaran fisika yang dapat dideteksi meliputi suhu, tekanan, *strain*, perpindahan, percepatan, arus listrik dan sebagainya. Berdasarkan disertasi (Akhiruddin Maddu 2007: 39) tentang sensor fiber optik, skema sistem sensor fiber optik dapat digambarkan pada Gambar 12.

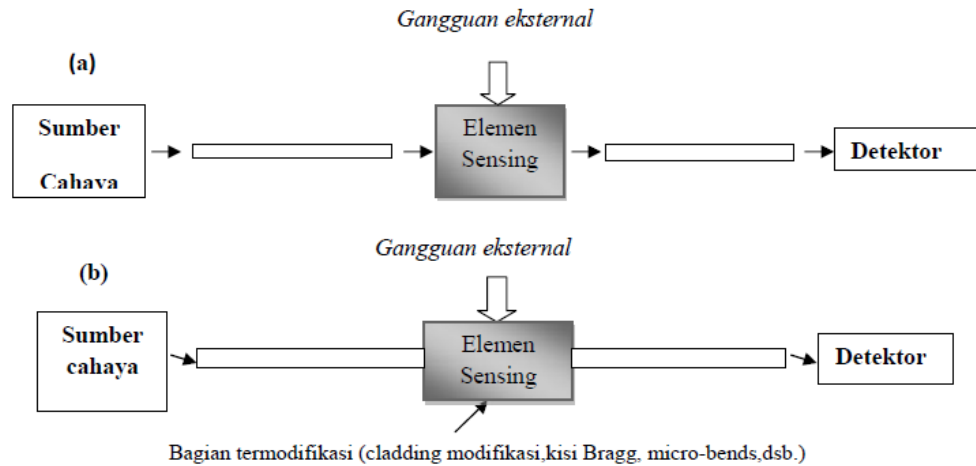
Modulasi dalam sensor fiber optik dapat dirancang dengan konfigurasi yang berbeda, tergantung pada besaran optik yang dimodulasi dapat berupa intensitas, panjang gelombang, fase atau polarisasi gelombang. Misalnya, untuk sensor fiber optik berdasarkan modulasi fase dapat dilakukan dengan konfigurasi interferometrik, sedangkan untuk modulasi panjang gelombang dapat dilakukan melalui pelapisan material sensitif di ujung fiber optik.



Gambar 12. Skema sensor fiber optik (Akhiruddin Maddu 2007: 39)

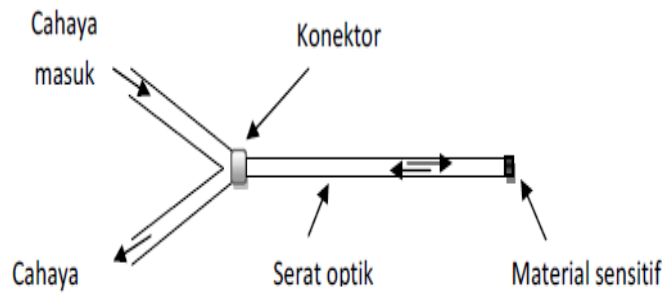
Modulasi intensitas yang paling banyak dikembangkan dapat dilakukan melalui mekanisme *cladding*. Sensor fiber optik termodulasi intensitas dengan mengukur intensitas transmisi atau absorpsi yang terjadi baik di luar maupun di dalam fiber optik, sedangkan sensor fiber optik termodulasi panjang gelombang atau fase didasarkan pada pergeseran fase gelombang

optik di dalam atau di luar fiber optik ketika mendapat gangguan dari luar (Akhiruddin Maddu, 2007: 40).



Gambar 13. Skema sensor fiber optik (a) ekstrinsik dan (b) intrinsik (Akhiruddin Maddu, 2007: 40)

Berdasarkan lokasi proses modulasi, di luar atau di dalam bagian fiber optik, sensor fiber optik diklasifikasikan menjadi dua yaitu, sensor fiber optik ekstrinsik dan sensor fiber optik intrinsik. Konfigurasi kedua tipe sensor fiber optik ditunjukkan pada Gambar 13, masing-masing dilengkapi dengan komponen-komponen optik dan elektrik yaitu sumber cahaya, fiber optik, detektor cahaya dan piranti pengolah sinyal serta elemen pengindraan. Penjelasan untuk jenis sensor fiber optik dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 14. Skema sensor ekstrinsik (optode) (Akhiruddin Maddu, 2007: 42)

#### a. Sensor Fiber Optik Ekstrinsik

Pada tipe sensor fiber optik ekstrinsik, fiber optik hanya berfungsi sebagai pandu gelombang saja atau penghubung (*link*) cahaya ke sistem *sensing* eksternal, dengan demikian tidak ada modifikasi pada struktur fiber optik untuk fungsi *sensing*. Proses *sensing* terjadi di luar fiber optik, seperti pada Gambar 13. (a); bagian penginderaan berada di luar fiber optik. Dalam proses *sensing*, cahaya sempat keluar dari fiber optik kemudian termodulasi oleh besaran yang diukur pada bagian pengindraan yang selanjutnya diteruskan menuju detektor cahaya, tahap akhir adalah dimodulasi untuk mendapatkan informasi kuantitas yang diukur.

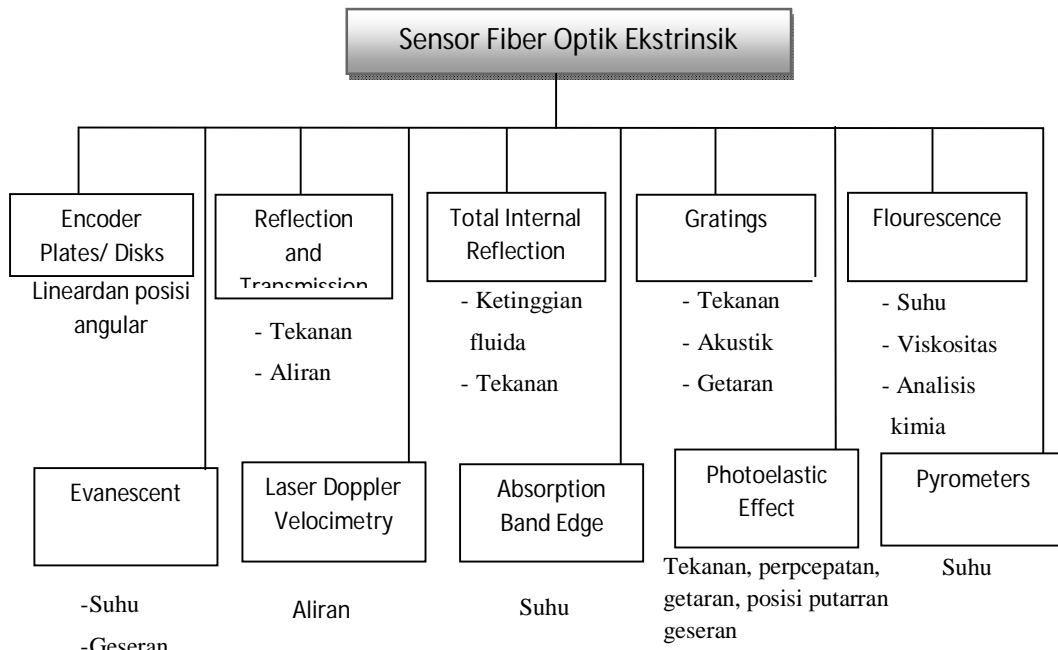
#### b. Sensor Fiber Optik Intrinsik

Pada sensor fiber optik intrinsik, fiber optik di samping sebagai pemandu cahaya juga sekaligus berperan dalam proses penginderaan, dimana terdapat bagian fiber optik yang berfungsi sebagai komponen pengindera, baik *cladding* atau intinya, seperti ditunjukkan pada Gambar 13 (b). Pada sensor tipe ini cahaya tidak pernah meninggalkan fiber optik

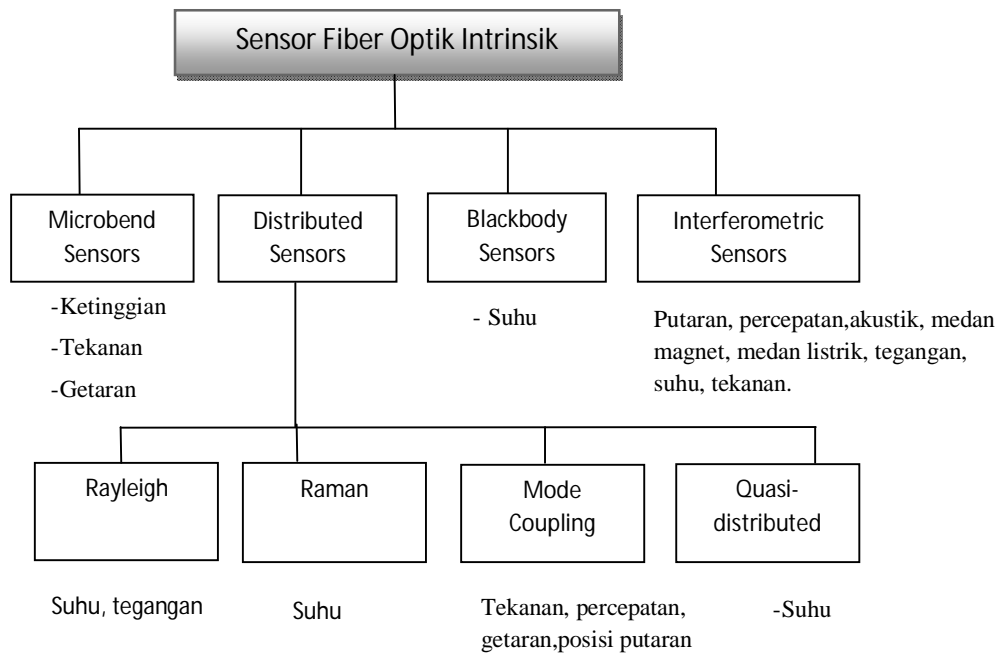
dalam proses penginderaan, jadi proses modulasi terjadi di dalam fiber optik, dengan demikian bagian fiber optik berperan aktif sebagai fungsi *sensing* (*sensing function*).

Gambar 15 dan Gambar 16 merupakan klasifikasi singkat dari sensor fiber optik yang pada dasarnya dibagi menjadi dua kelompok yaitu sensor fiber optik intrinsik dan ekstrinsik. Sensor fiber optik ekstrinsik dibedakan dengan karakteristik yang berperan aktif adalah bagian luar fiber. Sedangkan sensor fiber optik intrinsik yang melakukan pengindraan adalah bagian dalam fiber optik itu sendiri. Gambar 15 dan Gambar 16 merupakan sensor fiber optik yang telah dikelompokkan ke dalam kategori yang mewakili perkembangan saat ini yang paling umum dan aplikasinya.

Menurut Akhiruddin Maddu (2007: 43 ) ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk merealisasikan tipe sensor fiber optik intrinsik, yaitu dengan atau tanpa memodifikasi struktur fiber optik (*cladding* atau *core*). Sensor fiber optik intrinsik juga dapat dilakukan melalui prinsip *microbending* dan *macrobending* pada fiber optik, biasanya diaplikasikan sebagai sensor fisis seperti sensor *strain*, tekanan, dan sebagainya. Selain itu sensor intrinsik juga dapat memanfaatkan sifat aktif inti fiber optik.



Gambar 15. Skema klasifikasi dari sensor fiber optik ekstrinsik (Josef Jasenek, 2006: 3)



Gambar 16. Skema klasifikasi dari sensor fiber optik intrinsik (Josef Jasenek, 2006: 4)

#### **4. Prinsip Sensor Fiber Optik**

Berdasarkan prinsip kerja dan proses modulasi atau demodulasi, sensor fiber optik dapat diklasifikasikan berdasarkan intensitas, *phase*, frekuensi, atau polarisasi sensor. Semua parameter merupakan subjek untuk mengubah gangguan eksternal. Sensor fiber optik dapat dikelompokkan berdasarkan tiga klasifikasi yaitu:

##### **a. Sensor Fiber Optik Berdasarkan Intensitas**

Sensor modulasi intensitas adalah sensor yang paling sederhana dan mudah direalisasikan, oleh karena itu sensor jenis ini sangat luas dikaji di dalam sistem sensor fiber optik. Konsep sensor modulasi intensitas didasari atas perubahan amplitudo atau intensitas cahaya yang ditransmisikan melalui fiber optik ketika ada gangguan eksternal pada daerah *sensing*. Salah satu contoh sensor fiber optik berbasis intensitas adalah sensor gelombang evanescent.

##### **b. Sensor Fiber Optik Berdasarkan Modulasi Panjang Gelombang**

Sensor modulasi panjang gelombang menggunakan perubahan panjang gelombang atau cahaya untuk dideteksi. Contoh dari sensor modulasi panjang gelombang yaitu *Sensor Fluorescens*, sensor benda hitam, dan *Brag grating*.

##### **c. Sensor Fiber Optik Berdasarkan Modulasi *Phase***

Sensor ini menggunakan fase yang berubah untuk mendeteksi cahaya. Perubahan *phase* dideteksi secara *interferometer* dan metode yang digunakan untuk pendeteksian secara *interferometer* ini yaitu *Mach-Zehnder*, *Michelson*, *Fabry-Perot*, *Sagnac*, *polarimetric*, dan *grating interferometers*

#### **5. Sumber Cahaya untuk Fiber Optik**



Sumber cahaya disebut sebagai komponen aktif dalam sistem komunikasi fiber optik. Fungsinya mengubah arus listrik menjadi energi optik (cahaya) sehingga dapat dikopling ke fiber optik. Selanjutnya sinyal optik yang dihasilkan sumber ini akan membawa informasi sampai ke *receiver*.

#### **a. Laser**

Laser menghasilkan cahaya dengan panjang gelombang tetap yang dapat berada di dalam wilayah cahaya tampak, yaitu sekitar 635 nm atau dari ke tiga panjang gelombang standar inframerah. Cahaya tersebut memiliki *bandwidth* yang sangat sempit, umumnya hanya memiliki panjang beberapa nanometer. Hal ini memastikan bahwa dispersi kromatik dapat dipertahankan pada nilai yang kecil dan kondisi ini, bersama dengan *fast switching*, memungkinkan terjadinya kecepatan transmisi data yang tinggi.

#### **b. Laser Helium-Neon**

Laser He-Ne merupakan salah satu tipe laser dimana medium aktif dari laser ini adalah gas helium neon. Laser He-Ne sering digunakan dalam bidang optik dikarenakan *compact*, *portable* dan mudah digunakan sebagai sumber cahaya yang terlihat untuk berbagai keperluan seperti penelitian. Mekanisme populasi *inverse* pada laser He-Ne meliputi kombinasi dari tumbukan elektron He dengan transfer elektron dari helium ke neon. Perbandingan campuran gas ini berkisar 90 % helium dan 10 % neon. Senyawa gabungan gas helium dan neon ditempatkan pada rongga tertutup, *resonant cavity*, yang diapit oleh dua buah cermin. Salah satu cermin memantulkan berkas foton secara sempurna dan yang lainnya memantulkan sebagian. Pemantulan dari cermin ini berfungsi untuk memperkuat cahaya laser. Ketika terjadi proses

penembakan, gas elektron akan terakselerasi turun dari tabung yang kemudian akan menumbuk atom helium, sehingga atom tersebut akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi.

## **6. Power Meter**

*Power meter optical* adalah peralatan penting untuk pengukuran daya dalam sistem komunikasi fiber optik. Jenis *optical power meter* menggunakan bahan semikonduktor *photodetector* seperti *Silicon (Si)*, *Germanium (Ge)*, atau *Indium Gallium Arsenide (InGaAs)*, tergantung pada panjang gelombang yang digunakan. *Si detector* digunakan pada daerah panjang gelombang 850 nm, sedangkan Ge dan InGaAs detektor adalah jenis yang digunakan pada daerah panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm.

### **B. Kerangka Berfikir**

Penelitian ini digunakan untuk mencari pengaruh pengupasan jaket pelindung fiber optik dengan panjang pengupasan tertentu dan pelapisan *cladding* terhadap daya optik yang diterima oleh OPM. Seperti yang telah kita ketahui FOP selain digunakan untuk media transmisi sinyal-sinyal komunikasi dapat juga digunakan untuk sensor, salah satunya sensor ketinggian fluida. Pada penelitian ini fiber optik yang digunakan adalah fiber optik tipe SH-4001-1.3 yang memiliki indeks bias *core* 1,49 dan indeks bias *cladding* sebesar 1,41. Nilai indeks bias didapat dari *data sheet* fiber optik.

Cahaya masuk ke dalam fiber optik dengan sudut tertentu; sudut ini dinamakan sudut penerimaan. Apabila cahaya datang dengan sudut lebih besar dari sudut penerimaan maka cahaya tidak dapat melewati fiber optik karena cahaya diserap oleh *cladding*. Sedangkan jika cahaya datang dengan sudut kurang

dari sudut penerimaan maka cahaya dapat masuk dan merambat hingga keluar fiber optik. Cahaya mengenai sebuah bahan maka akan terjadi dua hal, yaitu sebagian cahaya dipantulkan dan sebagian cahaya lagi akan dibiaskan ke dalam medium berikutnya. Pemantulan pada suatu bahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Fresnel.

Penelitian ini menggunakan modulasi intensitas yang digunakan sebagai sensor ketinggian fluida. Dengan menggunakan sumber laser helium neon yang memiliki panjang gelombang 632,8 nm, peneliti akan mencari pengaruh pengupasan jaket pelindung dengan panjang tertentu, dan melapisi *cladding* dengan menggunakan aluminium atau tembaga terhadap keluaran daya optik yang akan dideteksi oleh OPM.

Penelitian ini relevan dengan beberapa penelitian-penelitian berikut ini:

1. *A Polymer Optical Fiber Fuel Level Sensor: Application to Paramotoring and Powered Paragliding*. Penelitian ini dilakukan oleh David, Pedro and Cermen pada tahun 2012. Hasil penelitiannya adalah pengupasan fiber optik plastik yang terbaik dilakukan pada titik-titik diskrit. sensitivitas dan linieritas terbaik adalah ketika fiber optik berbentuk melingkar.
2. Pengaruh variasi bentuk lekukan bertekanan terhadap perubahan intensitas cahaya keluaran pada serat optik plastik. Penelitian ini dilakukan oleh Furi Limastiwi pada tahun 2013. Hasil penelitiannya adalah intensitas cahaya keluaran akan menurun seiring dengan meningkatnya tekanan dan bertambahnya jumlah lekukan. Hal ini dikarenakan perubahan sudut yang ekstrim yang menyebabkan banyak cahaya yang masuk ke *cladding* jadi cahaya yang ditransmisikan menurun secara signifikan. Penurunan

intensitas cahaya keluaran yang paling banyak adalah bentuk lekukan gerigi segiempat.

3. Pengaruh jejari pembengkokan dan zat cair sebagai pengganti jaket pelindung terhadap perubahan intensitas cahaya keluaran serat optik plastik. Penelitian ini dilakukan oleh Arif Eko Sumaryanto pada tahun 2013. Hasil penelitiannya adalah intensitas cahaya keluaran serat optik plastik meningkat secara linier pada setiap penambahan panjang jejari pembengkokan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa Intensitas cahaya keluaran serat optik plastik semakin meningkat dengan semakin besarnya indeks bias zat cair pengganti jaket pelindung.
4. Karakteristik Rugi Daya dari Elemen Sensing Fiber Optik Plastik oleh Konsentrasi Zat Cair (Minyak, Oli, Kecap Dan Sirup). Penelitian ini dilakukan oleh Sugiyarti pada tahun 2014. Hasil penelitiannya adalah intensitas cahaya keluaran serat optik atau rugi daya menurun secara linier dengan semakin besarnya konsentrasi zat cair.